

雾冰藜 (*Bassia dasyphylla*) 种子萌发 和幼苗生长对盐碱胁迫的响应

李 辛¹, 赵文智^{1,2}

(1. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国科学院西北生态环境资源研究院 中国生态系统研究网络临泽内陆河流域研究站, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 一年生植物是干旱半干旱地区植被的重要组成部分, 是许多植物生态学关键问题研究的良好试验材料。为研究荒漠区一年生植物雾冰藜 (*Bassia dasyphylla*) 对盐碱生境的适应能力, 采用 2 种中性盐 NaCl、Na₂SO₄ 及 2 种碱性盐 Na₂CO₃、NaHCO₃ 按不同比例混合成 30 种溶液对雾冰藜种子进行胁迫处理。结果表明: 在所模拟的均匀覆盖了总盐度 50~250 mmol·L⁻¹、pH 7.10~10.19 范围内的 30 种盐碱条件下, 雾冰藜的各项萌发参数和生长指标在对照组(CK)下最高, 且均随盐浓度及 pH 的升高而下降, 各处理组与对照组间存在显著差异 ($P < 0.05$); 盐度、pH 及二者之间的交互作用对萌发和生长指标均有显著抑制作用 ($P < 0.05$); 不同盐碱组分对雾冰藜种子萌发和幼苗生长的抑制作用表现为 Na₂CO₃ > NaHCO₃ > NaCl > Na₂SO₄。雾冰藜种子在萌发阶段比幼苗生长阶段对盐碱胁迫更敏感, 盐度是种子萌发的主要胁迫因素, pH 值则是幼苗建植的主要胁迫因素。盐碱条件下盐度和 pH 之间交互作用对雾冰藜种子萌发阶段和幼苗建植的抑制影响比单一的盐或碱胁迫的影响大。

关键词: 雾冰藜 (*Bassia dasyphylla*); 种子萌发; 幼苗生长; 盐碱胁迫; 响应

文章编号: 1000-694X(2018)02-0300-07

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2017.00051

中图分类号: S330.2

文献标志码: A

0 引言

一年生植物是全球荒漠植物区系的重要组成部分, 在各种类型的荒漠生态系统中具有重要的生态功能^[1]。Goldblatt^[2]、Boulos 等^[3]、张德魁等^[4]、梁存柱等^[5]分别对非洲南部、科威特、中国河西走廊地区、阿拉善地区荒漠植物的研究表明, 一年生植物在其植物区系中的丰富度非常高。而在科尔沁沙漠和古尔班通古特沙漠, 一年生植物占当地植物总数的比例也达到了 25.2% 和 37.1%^[6-7]。一年生植物作为先锋植物或建群种植物, 广泛分布于荒漠区土质、沙质、砾质、石质、盐碱土等生境, 在长期进化和自然选择的过程中很好地适应了荒漠地区的生物和非生物环境因素, 形成了一整套完善的生存策略来应对荒漠生境的随机性和不确定性^[8]。

种子萌发和幼苗建植是植物生活史中最为敏感和关键的阶段, 并在荒漠地区一年生植物的生活史中以及种群的持续和动态发展中起着重要的作用^[9]。影响荒漠地区一年生植物种子萌发的主要环境因素有温度、水分、种子的埋深等。对 *Hordeum*

spontaneum 来说, 在适宜的温度下, 10 mm 降雨就能使种子萌发, 而在高温条件下, 即使 25 mm 的降雨下也不能萌发^[10]; 对大多数荒漠一年生植物而言, 只有当自然降雨超过一定的阈值后才能萌发^[11], 如 *H. spontaneum* 需要 10 mm 降雨就可以使种子萌发^[10], 而沙坡头地区的小画眉草则仅需 5 mm^[12]; 种子的埋深则通过影响土壤含水量、温度、光照等因素影响种子的萌发^[13-15]。在荒漠生境中, 一年生植物种子萌发后所受到的环境水分胁迫则是其幼苗存活和定居最重要的限制因素^[16]。截止目前, 相关研究集中关注的是荒漠区的沙质、砾质生境, 而对盐碱地生境下一年生植物的相关研究尚未引起重视。

土壤盐碱化是当前全球所面临的主要生态环境问题。目前, 全世界可利用土地面积的 23% 存在盐化现象, 另有 37% 严重碱化^[17]。由于自然界中盐碱化土壤所含盐分的种类、数量、比例十分复杂, 不同地区或者同一地区的不同区域表现出不同的盐化、碱化特点, 呈现高盐低 pH 或者低盐高 pH^[18]。在中国, 盐碱化土壤中的盐分含量 0.07%~1.3%,

收稿日期: 2017-02-28; 改回日期: 2017-05-03

资助项目: 国家自然科学基金项目(41471435)

作者简介: 李辛(1983—), 男, 甘肃临夏人, 博士研究生, 编辑, 主要研究方向为荒漠植物适应性。E-mail: lxlx9999@163.com

通信作者: 赵文智(E-mail: zhaowzh@lzb.ac.cn)

pH 值 6.9~10.8, 不同地块或同一地块的不同区域上盐分含量和 pH 的差异直接影响植物的正常生长和种群分布, 从而进一步形成了盐碱地特有的植物景观格局^[19]。由于盐碱地土壤中的盐分组成既含有中性盐又含有碱性盐, 所以盐碱混合胁迫是植物在盐碱地上生存所面临的主要问题。盐碱胁迫对植物种子萌发和植株建植的影响主要可归于离子毒害和渗透胁迫两个方面^[20-22], 而植物对盐胁迫和碱胁迫的适应机理略有不同, 但共性特征可以总结为由多个基因支配, 将盐分离子分隔到液泡中, 并在细胞代谢活跃的部位维持中性可溶性物质的较高水平, 以此保持较高的渗透势^[23]。

雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)为藜科雾冰藜属一年生草本植物, 是半固定或固定沙丘、平坦沙地以及中度盐碱地的先锋植物, 经常散生或群生于中国北方草原、半荒漠和荒漠地区的土质、沙质或沙砾质盐碱土壤上。目前, 对雾冰藜在不同生境条件下的各项适应性研究尚未开展。本研究以雾冰藜种子为研究对象, 利用 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 NaCl 和 Na_2SO_4 组合成 30 种盐碱条件, 对其进行混合胁迫处理, 探讨在不同盐碱条件下雾冰藜种子萌发及生长表现, 以期深入了解一年生植物雾冰藜在盐碱生境的适应性提供一定的科学参考, 进而为荒漠地区植被的恢复重建提供一定的科学支持。

1 材料与方法

1.1 种子的采集

供试雾冰藜种子于 2015 年 10 月采集于中国生态系统研究网络临泽内陆河流域研究站附近盐碱地(39°21' N, 100°07' E, 海拔 1 367 m)。该区域属于温带大陆性荒漠气候, 降水稀少而集中, 气候干燥, 年平均降水量 117.1 mm, 年平均气温 7.6 °C。种子从果序上分离后贮藏于 4 °C 条件下备用。采集地的土壤类型为沙质土, 其 pH 为 7.52, 可溶性 Na^+ 含量为 $2.1 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$, 可溶性 K^+ 含量为 $1.1 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$, 速效氮含量为 $0.08 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$, 速效磷含量为 $0.03 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$, 速效钾含量为 $1.6 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$, 速效钙含量为 $0.5 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

1.2 盐碱混合胁迫的模拟

依据河西走廊盐碱地的盐分组成和土壤 pH 的分布范围^[24-25], 将 NaCl 、 Na_2SO_4 两种中性盐和 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 两种碱性盐按照不同比例混合(表 1), 按照碱性盐配制比例逐步增大的顺序分为 A、B、C、D、E、F 等 6 个组, 每组设 50、100、150、200、

250 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等 5 个浓度梯度(图 1)。并将 A、50 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 记为 A_1 处理; A、100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 记为 A_2 处理, 其余类推。

表 1 各处理所含盐分及其摩尔比

Table 1 Salt composition and molar ratio of various treatments

处理组	盐分组成及其摩尔比			
	NaCl	Na_2SO_4	NaHCO_3	Na_2CO_3
A	2	1	0	0
B	1	1	1	0
C	12	9	8	1
D	8	9	12	1
E	12	1	8	9
F	0	0	2	1

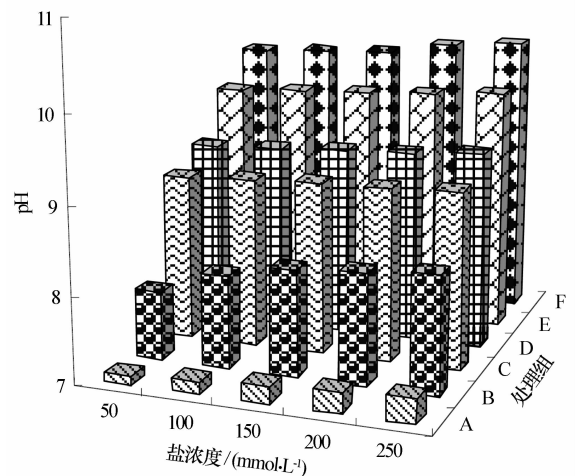


图 1 各处理的总盐浓度和 pH 值

Fig. 1 Total salt concentration and pH of various treatments

1.3 测定指标及方法

选择饱满、整齐一致的雾冰藜种子, 用 0.1% H_2O_2 消毒 10 min, 用双蒸水冲洗 3 次, 晾干。试验采用培养皿纸上发芽法, 在洗净烘干的带盖培养皿(直径 110 mm)中放入 2 层滤纸(直径 125 mm), 分别加入上述盐碱溶液 10 mL, 以等量双蒸水作对照处理, 将雾冰藜种子均匀放置在培养皿中, 每个培养皿 50 粒, 相同浓度重复 3 次, 将培养皿放进人工气候箱, 保持温度 $(23 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$, 12 h 光照(Sylvania 冷白荧光灯管, $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 400~700 nm, HPG-400 人工气候箱), 每天以称质量法加入双蒸水以保持溶液浓度不变, 逐日统计发芽数, 胚根突破种皮并超过种子长度的一半即视为发芽, 以连续 3 d 没有新种子萌发视为发芽结束。按照王芳等^[26]的方法计算各处理种子的发芽率、发芽指数、幼苗活力

指数和发芽速度等萌发参数。发芽试验结束后,挑选长势一致的 5 棵幼苗统计胚芽长、初生根长和幼苗鲜质量。

1.4 数据处理

数据分析采用 SPSS 19.0 软件完成,用 Duncan 显著性检验方法比较不同处理间的差异性并进行指标间的相关性分析,利用 Excel 2007 软件做图。

2 结果

2.1 雾冰藜种子萌发对盐碱胁迫处理的响应

各处理对雾冰藜种子萌发参数的影响如图 2 所示。雾冰藜种子在双蒸水中的发芽率最高,为 $79.33\% \pm 1.15\%$,显著高于各胁迫处理($P < 0.05$)。随着盐浓度的增大,各处理组内的发芽率不断降低,除 B_4 和 B_5 、 E_4 和 E_5 、 F_4 和 F_5 处理间差异不显著外,其余各处理与对照差异均显著($P < 0.05$)。在盐浓度相同的条件下,随着溶液 pH 的增大,雾冰藜种子的发芽率

总体呈现不断下降的趋势,当盐浓度 $\geq 150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,各处理组间的下降趋势不显著,其中 F_5 处理的发芽率最小,仅为 $10.01\% \pm 2.03\%$ 。

在盐碱胁迫条件下,雾冰藜种子的发芽速度、发芽指数和幼苗活力指数与其发芽率有相同的变化趋势(图 2)。雾冰藜种子的发芽速度、发芽指数和幼苗活力指数均在双蒸水对照条件下出现最大值,分别为 68.10 ± 0.87 、 69.34 ± 1.24 、 5.73 ± 0.06 ,且与各胁迫处理差异显著($P < 0.05$);随着盐浓度的增大,各处理组内的发芽速度、发芽指数和幼苗活力指数不断降低,在盐浓度相同的条件下,随着溶液 pH 的增大,发芽速度、发芽指数和幼苗活力指数均呈现下降趋势。就发芽速度和发芽指数而言,除 F_4 和 F_5 处理间差异不显著外,其余各处理与对照差异均显著($P < 0.05$),其中 E_5 处理下的发芽速度和发芽指数最小,为 7.14 ± 0.57 和 5.69 ± 0.18 ,分别是对照的 1/9 和 1/11 倍。就幼苗活力指数而言,各处理与对照间的差异均达到显著水平($P < 0.05$),其中 E_5 处理下的幼苗活力指数最小,仅为 0.33 ± 0.06 ,是对照的 1/16。

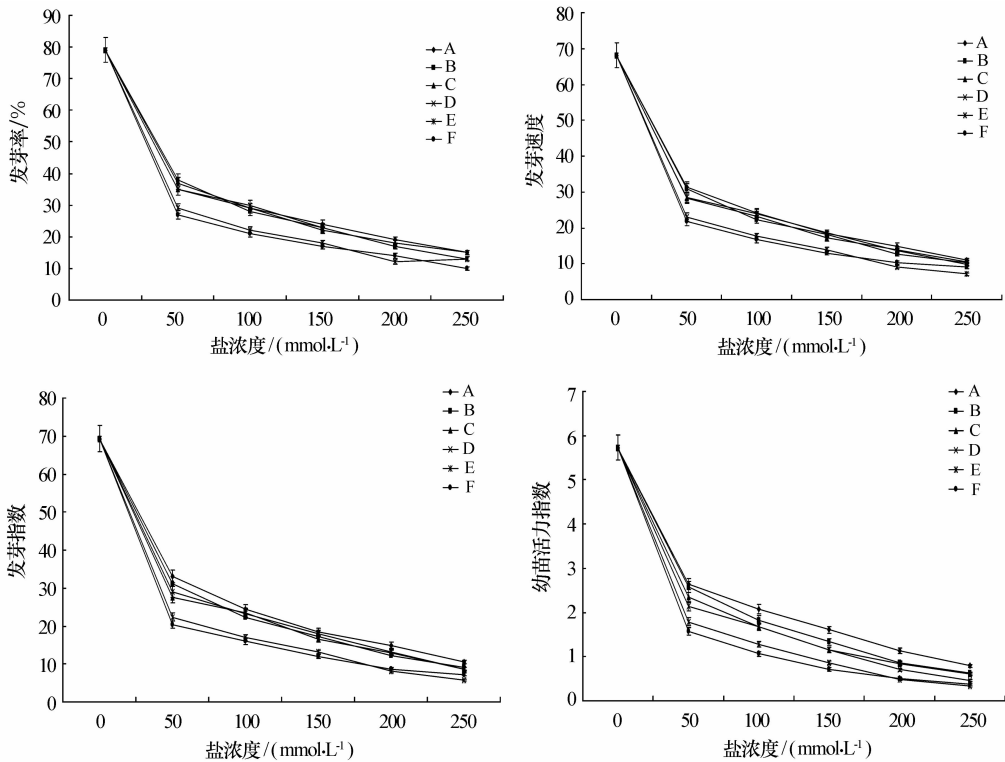


图 2 盐碱胁迫对雾冰藜种子萌发的影响

Fig. 2 Effects of various mixed salt-alkaline stress conditions on seed germination of *Bassia dasyphylla*

2.2 雾冰藜幼苗生长指标对混合盐碱胁迫处理的响应

各处理对雾冰藜幼苗胚芽长、初生根长和全株鲜质量的影响如图 3 所示。雾冰藜幼苗在双蒸水

(对照)中的胚芽长和鲜质量最大,分别为 $(3.82 \pm 0.05) \text{ cm}$ 和 $(4.50 \pm 0.05) \text{ mg}$,显著高于各胁迫处理($P < 0.05$);而初生根长度在双蒸水及 A_1 和 A_2 处理间差异不显著,但在 A_2 处理下长度最大,为 $(3.52 \pm 0.10) \text{ cm}$,显著高于其他各个胁迫处理($P < 0.05$)。

随着盐浓度的增大,各处理组内的胚芽长和鲜质量不断减小;胚芽长除在 A_1 、 A_2 、 A_3 之间, A_4 、 A_5 处理之间和 B_1 、 B_2 处理之间差异不显著外,其余各处理的胚芽长和鲜质量均与对照差异显著 ($P < 0.05$);初生根长除 A_1 和 A_2 处理外,各处理组内的胚芽长均随盐浓度

的增大而不断减小,且各处理间差异均显著 ($P < 0.05$)。在盐浓度相同的条件下,随着溶液 pH 的增大,雾冰藜幼苗胚芽长、初生根长和鲜质量不断减小,且均在 F_5 处理下有最小值,分别为 (1.77 ± 0.04) cm、 (1.11 ± 0.03) cm 和 (2.33 ± 0.04) mg。

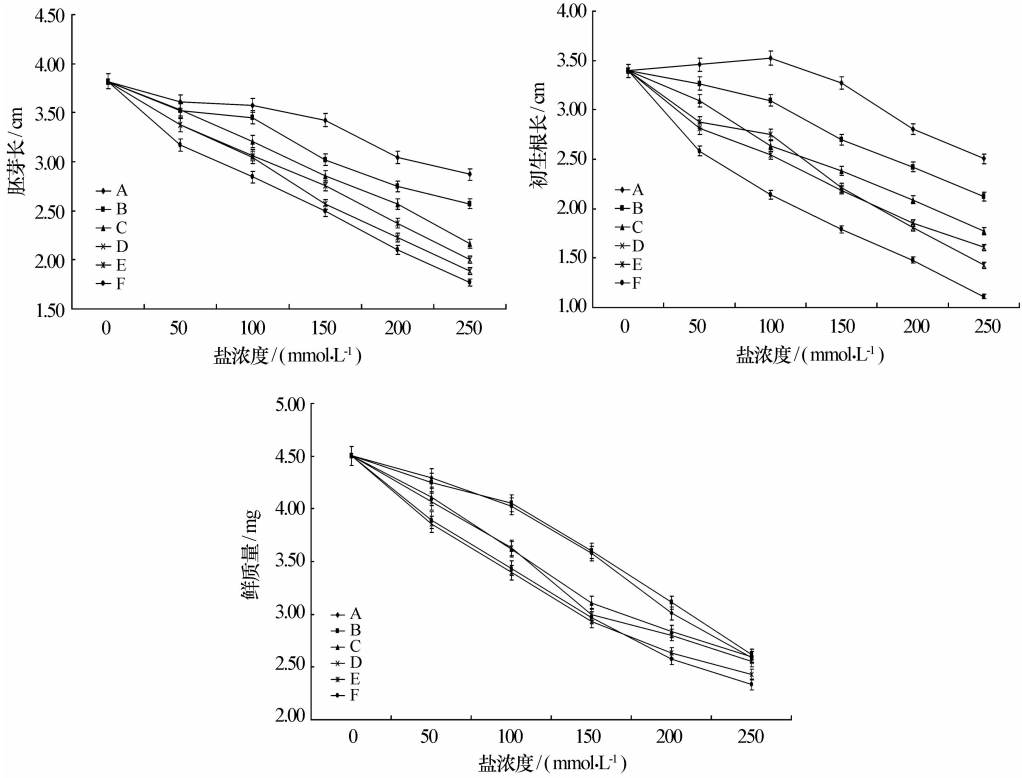


图 3 盐碱胁迫对雾冰藜幼苗生长的影响

Fig. 3 Effects of various mixed salt-alkaline stress conditions on seedling growth of *Bassia dasyphylla*

2.3 盐度、pH 及其交互作用对雾冰藜种子萌发及幼苗生长的影响

由表 2 可以看出,盐碱胁迫处理下的溶液盐度、pH 及其交互作用对雾冰藜种子萌发及幼苗生长指标均有极显著影响,总体影响程度以盐度最高,其次是 pH,再次是盐度、pH 的交互作用;就种子萌发和

幼苗生长两个阶段而言,溶液盐度、pH 及其交互作用对幼苗生长阶段的影响大于种子萌发阶段。其中,溶液 pH 对雾冰藜初生根长的影响最大,溶液盐度及盐度与 pH 间的交互作用对鲜质量的影响最大。由此可以判断,构成混合盐碱胁迫条件的溶液盐度、溶液 pH 及其之间的交互作用均会显著影响雾冰藜种子萌发及幼苗生长指标。

表 2 盐度、pH 及其交互作用与雾冰藜种子萌发和幼苗生长的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between salinity, pH and their interactions and seed germination and seedling growth of *Bassia dasyphylla*

差异来源	发芽率/%	发芽速度	发芽指数	幼苗活力指数	胚芽长/cm	初生根长/cm	鲜质量/mg
pH	35.407***	75.846***	79.704***	115.216***	203.259***	728.120***	205.039***
盐度	317.482***	683.924***	581.190***	666.430***	643.486***	1110.665***	2189.337***
盐度×pH	2.136*	3.953***	3.759***	3.669***	6.060***	7.977***	9.398***

数据表示 0.05 水平上的 F 值。*, $P < 0.05$; ***, $P < 0.001$ 。

2.4 盐碱离子组成对雾冰藜种子萌发及幼苗生长的影响

为了揭示盐碱胁迫离子组成与雾冰藜种子萌发

及幼苗生长的关系,计算二者间的相关系数并列于表 3。从表 3 可见, $[Na^+]$ 、 $[CO_3^{2-}]$ 和 $[HCO_3^-]$ 与雾冰藜种子萌发及幼苗生长指标的相关系数均达极显

著水平; $[\text{SO}_4^{2-}]$ 与雾冰藜种子萌发及幼苗生长指标的相关性均未达到显著水平, 因而其影响作用可以忽略; $[\text{Cl}^-]$ 除与发芽率、发芽指数和鲜质量 3 项指标间的相关系数达显著水平外, 与其他 4 项指标间

的相关系数均不显著。由相关系数数值的大小可以得出, 盐碱胁迫离子组成对雾冰藜种子萌发及幼苗生长指标的影响程度排序为 $[\text{Na}^+] > [\text{CO}_3^{2-}] > [\text{HCO}_3^-] > [\text{Cl}^-] > [\text{SO}_4^{2-}]$ 。

表 3 盐碱离子组成与雾冰藜种子萌发和幼苗生长指标间的相关系数
Table 3 Correlation coefficients between salt-alkali ion constitution and seed germination, seedling growth of *Bassia dasyphylla*

胁迫因素	胁迫指标						
	发芽率/%	发芽速度	发芽指数	幼苗活力指数	胚芽长/cm	初生根长/cm	鲜质量/mg
$[\text{Na}^+]$	-0.914**	-0.918**	-0.905**	-0.885**	-0.831**	-0.733**	-0.934**
$[\text{Cl}^-]$	-0.429*	-0.429	-0.395*	-0.326	-0.147	0.007	-0.421*
$[\text{SO}_4^{2-}]$	-0.287	-0.288	-0.262	-0.238	-0.094	0.007	-0.313
$[\text{CO}_3^{2-}]$	-0.640**	-0.644**	-0.664**	-0.711**	-0.831**	-0.871**	-0.672**
$[\text{HCO}_3^-]$	-0.540**	-0.542**	-0.559**	-0.567**	-0.679**	-0.700**	-0.529**

* , $P < 0.05$; ** , $P < 0.01$ 。

3 讨论

发芽率、发芽速度、发芽指数和幼苗活力指数是衡量一年生植物种子活力的重要指标, 数值越高说明种子的活力越高, 萌发所需要的时间越短, 幼苗健壮的程度越高, 可以预示在自然状态下种子能够更快萌发出苗并建植生长。土壤盐度导致的低水势是盐碱生境下抑制植物种子萌发的主要限制因素^[27-28]。在种子萌动阶段与环境的物质交流以吸水为主, 吸水是种子萌发的关键因素。土壤中的盐分浓度决定了土壤水势, 随着盐度增加, 种子周围的水势(细胞内部和外部的不同水势)逐渐减少, 在这种渗透胁迫下种子很难吸收水分, 从而影响种子萌发。本研究结果表明, 雾冰藜种子的萌发参数在所有的试验组中均低于对照, 各试验组中萌发参数随盐分浓度的升高而降低, 在同一盐浓度下随溶液 pH 的升高而降低, 这与 Lin 等^[29]在另一种一年生植物羊草上的研究结果一致。雾冰藜种子的萌发指标受到 pH、盐度及交互作用的共同影响, 且在盐胁迫(A 组)下的耐性强于盐碱混合胁迫(B~F 组)。这是由于混合盐碱胁迫不仅与盐胁迫具有相同的胁迫特征, 而且由于高 pH 的影响, 形成了更大的损伤作用。然而, 所有试验组内盐度最小的处理(50 mmol · L⁻¹), 即使是在较高的 pH 条件下依然具有较高的萌发参数, 这表明在盐浓度较低条件下, 雾冰藜种子的萌发受高 pH 的影响较小。当盐度继续增高时, 盐度和高 pH 的交互作用将显著降低雾冰藜种子的萌发参数。Gao 等^[30]研究混合盐碱胁迫下苜蓿种子的萌发响应时发现, 当 pH 低于 7.12

时, 盐碱胁迫会促进种子萌发, 而当 pH 高于 7.12 时则会抑制种子萌发。Lin 等^[29]的研究也表明, 当 pH 高于 10.12 时, 羊草种子的萌发完全被抑制。而在本研究中, 雾冰藜种子萌发在盐碱混合胁迫条件下并没有出现上述拐点, 且在较高的盐度和 pH 下仍有部分种子正常发芽, 说明其种子对盐碱生境的适应能力强于苜蓿种子和羊草。

一年生植物萌发后的幼苗存活定居时期是决定植物达到对环境最终适宜度的重要阶段。生长抑制是植物响应盐渍生境最敏感的生理过程^[31]。本研究结果表明, 除雾冰藜幼苗的胚根长在 pH 低于 7.12 时高于对照以外, 其余各生长指标在各处理下均显著低于对照, 并随各试验处理盐分浓度的升高而降低, 在同一盐浓度下随溶液 pH 的升高而降低。Gao 等^[30]的研究表明, 当 pH 低于 7.12 时苜蓿幼苗的胚根长高于对照, 在其余处理下均低于对照, 而胚芽长则在 pH 低于 8.04 均高于对照, 在其余处理下均低于对照。Li 等^[32]研究表明, 当 pH 值 ≥ 9.0 时互花米草的胚根生长受到很大抑制。盐碱混合胁迫对雾冰藜植物幼苗的影响可能是由于高 pH 及其与其他离子胁迫的交互作用导致的, 高 pH 和高盐度胁迫环境导致幼苗离子失衡和代谢紊乱, 从而破坏了细胞的结构和功能, 进而影响到整个植株^[33-34]。

由多种盐的不同组成和比例形成混合盐碱胁迫, 其有害影响比单一的盐或碱的胁迫更复杂^[35]。盐胁迫对植物的胁迫特征包括渗透压和离子作用, 碱胁迫不仅与盐胁迫具有相同的胁迫特征, 而且更表现为高 pH 值胁迫。然而, 当中性盐和碱性盐混

合时,由于盐度、pH 值及二者之间的交互作用使其对植物的负面影响更大。从相关性分析的结果可以很明显地看出,盐度、pH 及其交互作用均对雾冰藜种子萌发和幼苗生长有显著的影响,且在幼苗生长阶段的影响程度更大。混合盐碱条件下各组成离子对雾冰藜种子萌发和幼苗生长的抑制作用排序为 $[\text{Na}^+] > [\text{CO}_3^{2-}] > [\text{HCO}_3^-] > [\text{Cl}^-] > [\text{SO}_4^{2-}]$,说明试验所用 4 种不同性质的盐分对雾冰藜种子萌发和幼苗生长的抑制作用排序为 $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SO}_4$ 。纪荣花等^[36]、代莉慧等^[37]在芨芨草、盐地碱蓬、碱蓬和盐爪爪等植物上的相关研究也得出了同样的结果。以上研究结果综合表明,在盐碱地环境中碱性盐对植物的抑制影响大于中性盐,且二者并存时的交互作用对植物的抑制影响大于单独存在的时候。

4 结论

雾冰藜种子萌发和幼苗生长指标在中性环境条件下最高。在盐碱胁迫条件下,雾冰藜种子萌发和幼苗生长受到盐度、pH 值及二者之间交互作用的显著抑制,其影响在幼苗早期生长阶段大于种子萌发阶段。盐度是雾冰藜种子萌发的主要胁迫因素,pH 值则是幼苗建植的主要胁迫因素。不同的性质盐分组成对雾冰藜种子萌发和幼苗生长的抑制作用排序为 $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SO}_4$ 。研究雾冰藜种子在盐碱生境下的萌发和幼苗最初生长过程,有助于进一步了解其对荒漠盐碱地生境的适应策略。对荒漠盐碱地的治理而言,则可以通过优先降低碱性盐含量的方法达到降低土壤盐度和 pH 值的目的,进而提高植物的存活率,从而实现盐碱地改良和植被的恢复与重建。

参考文献:

- [1] 李雪华,李晓兰,蒋德明,等. 干旱半干旱荒漠地区一年生植物研究综述[J]. 生态学杂志,2006,25(7):851—856.
- [2] Goldblatt P. Analysis of the flora of southern Africa: Its characteristics, relationships and origins[J]. Annals of the Missouri Botanical Garden,1978,65:369—436.
- [3] Boulos L, Al-Dosari M. Checklist of the flora of Kuwait[J]. Journal of the University of Kuwait (Science),1994,21:203—218.
- [4] 张德魁,马全林,刘有军,等. 河西走廊荒漠区一年生植物组成及其分布特征[J]. 草业科学,2009,26(12):37—41.
- [5] 梁存柱,刘钟龄,朱宗元,等. 阿拉善荒漠区一年生植物层片物种多样性及其分布特征[J]. 应用生态学报,2003,14(6):897—903.
- [6] 中国科学院宁夏和内蒙古植被考察队. 内蒙古植被[M]. 北京:科学出版社,1985.
- [7] 张立运. 古尔班通古特沙漠生物多样性的一般特征[J]. 生态学报,2002,22(11):1923—1932.
- [8] Gutterman Y. Environmental factors and survival strategies of annual plant species in the Negev Desert, Israel[J]. Plant Species Biology,2000,15:113—125.
- [9] Tevis L Jr. Germination and growth of ephemerals induced by sprinkling a sandy desert[J]. Ecology,1958,39:681—688.
- [10] Gutterman Y, Evenari M. The influences of amounts and distribution of irrigation during the hot and dry season on emergence and survival of some desert winter annual plants in the Negev Desert[J]. Israel Journal of Plant Sciences,1994,42:1—14.
- [11] Gutterman Y. Seed germination in desert plants[M]. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag,1993.
- [12] 徐彩琳,李自珍. 荒漠一年生植物小画眉草的种群动态调节与模拟[J]. 西北植物学报,2002,22(6):1415—1420.
- [13] Kevin J R, Andrew R D. Seed aging, delayed germination and reduced competitive ability in *Bromus tectorum* [J]. Plant Ecology,2001,155:237—243.
- [14] 石勇,刘源,殷恒霞,等. 红砂(*Reaumuria soongarica*)种子萌发特性及其局部适应性[J]. 中国沙漠,2016,36(3):644—650.
- [15] 李红颖,刘果厚,韩春荣,等. 四合木(*Tetraena mongolica*)种子萌发出苗对水分和沙埋的响应[J]. 中国沙漠,2017,36(5):910—916.
- [16] Winter E J. Water, Soil and the Plant[M]. London, UK: McMillan,1974.
- [17] Tanji K K. Nature and extent of agricultural salinity[M]// Tanji K K. Agricultural Salinity Assessment and Management. New York, USA: American Society of Civil Engineers,1990:1—18.
- [18] Shi D C, Wang D L. Effects of various salt-alkaline mixed stresses on *Aneurolepidium chinense* (Trin.) Kitag[J]. Plant and Soil,2005,271:15—26.
- [19] 张科,田长彦,李春俭. 一年生盐生植物耐盐机制研究进展[J]. 植物生态学报,2009,33(6):1220—1231.
- [20] Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety,2006,60(3):324—249.
- [21] Machado N N B, Saturnino S M, Bomfim D C, et al. Water stress induced by mannitol and sodium chloride in soybean cultivars[J]. Brazilian Archives of Biology and Technology,2004,47(4):521—529.
- [22] 代明龙,王平,孙吉康,等. 盐碱胁迫对植物种子萌发的影响及生理生化机制研究进展[J]. 北方园艺,2015(10):176—179.
- [23] 廖岩,彭友贵,陈桂珠. 植物耐盐性机理研究进展[J]. 生态学报,2007,27(5):2077—2089.
- [24] 王遵亲,祝寿全,俞仁培,等. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [25] 吕彪,许耀照,赵芸晨. 河西走廊内陆盐渍土生物修复与调控

- 研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 198—200.
- [26] 王芳, 肖洪浪, 赵亮. 单盐胁迫对红砂种子萌发的影响[J]. 种子, 2013, 32(10): 1—11.
- [27] Debez A, Hamed B K, Grignon C, et al. Salinity effects on germination, growth, and seed production of the halophyte *Cakile maritime*[J]. Plant Soil, 2004, 262: 179—189.
- [28] 刘宝玉, 张文辉, 刘新成, 等. 沙枣和柠条种子萌发期耐盐性研究[J]. 植物研究, 2007, 27(6): 721—728.
- [29] Lin J X, Li Z L, Shao S, et al. Effects of various mixed salt—alkaline stress conditions on seed germination and early seedling growth of *Leymus chinensis* from Songnen grassland of China[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2014, 42(1): 154—159.
- [30] Gao Z W, Zhu H, Gao J C, et al. Germination responses of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) seeds to various salt alkaline mixed stress[J]. African Journal of Agricultural Research, 2011, 6(16): 3793—3803.
- [31] Bayuelo-Jiménez J S, Craig R, Lynch J P. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth[J]. Crop Science, 2002, 42: 1584—1594.
- [32] Li R L, Shi F C, Fukuda K. Interactive effects of salt and alkali stresses on seed germination, germination recovery, and seedling growth of a halophyte *Spartina alterniflora* (Poaceae)[J]. The South African Journal of Botany, 2010, 76: 380—387.
- [33] Shi D C, Yin L. Difference between salt (NaCl) and alkaline (Na_2CO_3) stresses on *Puccinellia tenuiflora* (Griseb.) Scribn. et Merr.[J]. Acta Botanica Sinica 1993, 35: 144—149.
- [34] Shi D C, Yin S J, Yang G H, et al. Citric acid accumulation in an alkali-tolerant plant *Puccinellia tenuiflora* under alkaline stress[J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44: 537—540.
- [35] Liu J, Zhu J K. Proline accumulation and salt-stress-induced gene expression in a salt-hypersensitive mutant of *Arabidopsis*[J]. Plant Physiology, 1997, 114: 591—596.
- [36] 纪荣花, 于磊, 鲁为华, 等. 盐碱胁迫对芨芨草种子萌发的影响[J]. 草业科学, 2011, 28(2): 245—250.
- [37] 代莉慧, 蔡禄, 吴金华, 等. 盐碱胁迫对盐生植物种子萌发的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(6): 134—138.

Effects of Salt-alkaline Mixed Stresses on Seed Germination and Seedling Growth of *Bassia dasyphylla* in Desert Region

Li Xin¹, Zhao Wenzhi^{1,2}

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Linze Inland River Basin Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Annual plant species are the main component of the vegetation in arid and semi-arid desert regions, with their unique traits as the good candidates for the study of many key bio-ecological issues. This paper studied the response of various salt-alkaline stress on seed germination and growth of annual plant *Bassia dasyphylla* in desert region. Thirty different salt-alkaline ecological conditions, which evenly covered all the cases within the ranges of 50—250 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ salinity and 7.10—10.19 pH values, were simulated by mixtures of varied proportions of sodium salts of chloride, carbonate, bicarbonate and sulphate. The germination indexes of germination rate, germination speed, germination index, seeding vigor index and growth indices of shoot length, root length, fresh weigh were determined. The results showed that germination indexes and growth indices of treatment group were significantly lower than control group, were both decreased with increasing salinity and pH, and were found significant different ($P < 0.05$) from the negative control group. All of the indexes were also restraining affected by salinity, pH and their interactions ($P < 0.05$). The order of rejection capability of sodium salts of chloride, carbonate, bicarbonate and sulphate was $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SO}_4$. The effects of the interaction between high alkalinity and salinity are more severe than those of either salt or alkali stress, and such a cooperative interaction results in more sensitive responses of seed germination and seedling growth of *B. dasyphylla*. Salinity was the dominant factor for seed germination under mixed salt-alkaline stress conditions, and pH changed into the dominant factor for seedling establishment. Further, It was concluded that the mixed salt-alkaline stresses, which differ from either salt or alkali stress, emphasize the significant interaction between salt concentration (salinity) and salt component (alkalinity).

Key words: *Bassia dasyphylla*; seed germination; seedling growth; salt-alkaline stresses; response